

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СОПРОВОЖДЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ЗОНДА ДЛЯ КОНТАКТНОГО МОНИТОРИНГА

Шишкин М.С., Шабунин С.Н.

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Екатеринбург, Россия

mikhail.shishkin@urfu.me s.n.shabunin@urfu.ru

Аннотация. Цель работы – модернизация наземной станции сопровождения атмосферного зонда в плане улучшения рабочих характеристик и уменьшения массы и габаритов. В статье предложена конструкция антенной системы для аэрологического радиолокационного вычислительного комплекса «Вектор-М». Антенная система состоит из основной антенной решетки, необходимой для формирования узкого луча и сопровождения зонда на больших удалениях от станции и малой, необходимой для сопровождения зонда на начальном этапе полета. Выполнены расчеты прогнозной дальности работы лоатора.

Ключевые слова: радиозонд, фазированная антенная решетка, печатная антенна, диаграмма направленности, радиолокатор.

MODERNIZATION OF THE RADIOSONDE TRACKING GROUND RADAR STATION FOR THE CONTACT ATMOSPHERE MONITORING

Shishkin M., Shabunin S.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin»

Ekaterinburg, Russia

Abstract. The purpose of the work is the modernization of the radiosonde tracking ground radar station for contact monitoring of the atmosphere. The paper proposes the design of the antenna system for the radar «Vector-M». The antenna system consists of a main antenna array necessary for the formation of a narrow beam and tracking the radiosonde at large distances and a small one, necessary for tracking the radiosonde at the initial stage of the flight. Calculations of the predicted range of the radar have been completed.

Key words: radiosonde, phased antenna array, patch antenna, radiation pattern, tracking radar.

1 Введение

Контактный метод исследования атмосферы является наиболее точным и популярным как в России, так и в других странах. Метод предполагает использование метеорологических зондов, запускаемых с помощью воздушного шара в воздух, на корпусе которых закрепляются различные датчики (измерители температуры или влажности воздуха), а внутри корпуса располагаются приемопередатчик и батарея. Измеренные с помощью датчиков параметры атмосферы зонд передает на наземные станции посредством беспроводной связи [1], [2].

Важнейшими задачами при контактном методе измерений параметров атмосферы является сопровождение зонда в полете, определение его координат и обеспечение двухсторонней связи с наземной станцией. Для этого используются наземные радиолокационные станции, одной из популярнейших среди которых на сети Росгидромета является аэрологический радиолокационный вычислительный комплекс (АРВК) «Вектор-М» [3], [4]. Однако, опыт эксплуатации данных радаров показал недостаточную надежность, так, среди основных недостатков: срывы сопровождения радиозонда, пропуски телеметрической информации, ошибки в определении угловых координат радиозонда.

Основные ошибки в работе АРВК «Вектор-М» можно устранить при использовании правильно спроектированной антенной системы (АС). Один из последних, наиболее удачных вариантов антенных систем, представлен в [5], где были заметно снижены уровни боковых лепестков (УБЛ) в направлении земной поверхности. Однако, данная АС имеет достаточно большие вес и размер, кроме того, при сканировании основной фазированной антенной решеткой (ФАР) возникают побочные максимумы достаточно высокого уровня в плоскостях $\pm 45^\circ$. Ввиду того, что используется активный ответ от радиозонда, размеры антенной системы лоатора допустимо было сократить. Так, были выполнены соответствующие исследования и предложены конструкции основной ФАР и схемы ее питания (диаграммообразующей схемы – ДОС) [6], [7]. В данной статье проведен анализ излучателей для малой ФАР антенной системы и приведены расчеты прогнозируемой дальности работы лоатора при использовании предложенной АС.

2 Конструкция малой ФАР антенной системы

Согласно проведенным в [6], [7] исследованиям, круглая печатная антенна имеет больший коэффициент усиления (КУ), чем квадратная при использовании в качестве подложки воздуха при питании полосковой линией. Согласно [8], антенны на подложке с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2-2,5$ имеют примерно одинаковый КУ. На основе расчетов из [8]–[12] были

выполнены модели нескольких вариантов четырехэлементных ФАР (рисунки 1 и 2).

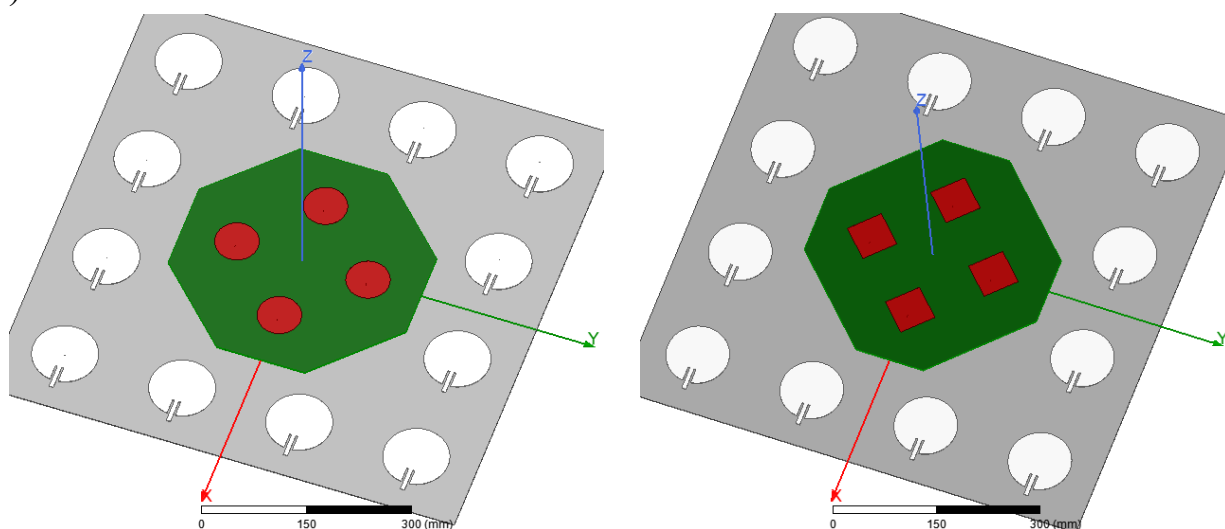


Рисунок 1 – Модели малой ФАР на диэлектрической подложке при питании коаксиальными линиями, выполненные в ANSYS Electronics

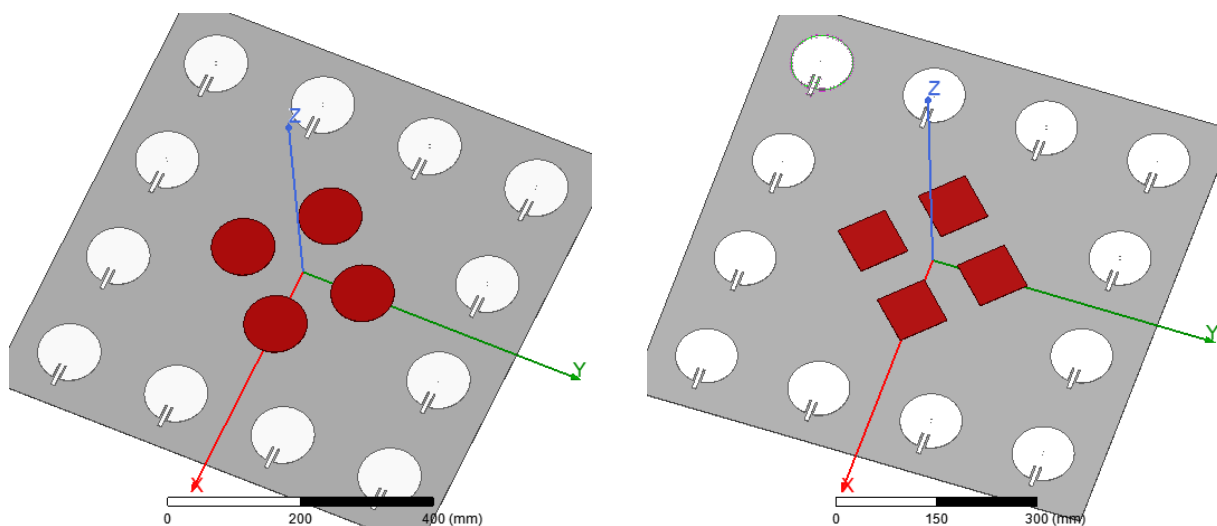


Рисунок 2 – Модели малой ФАР на воздушной подложке при питании коаксиальными линиями, выполненные в ANSYS Electronics

На рисунке 3 показано изменение коэффициента усиления в зависимости от толщины подложки для рассматриваемых типов малых ФАР. Можно заметить, что для воздушной подложки оптимальная высота установки излучателя составляет 4–6 мм. При использовании подложки ФАФ-4Д оптимальная толщина составляет 2–4 мм.

В таблице приведены ширина диаграммы направленности по уровню минус 3 дБ в главных плоскостях θ_{-3} , коэффициент усиления, рабочая полоса частот по уровню $KCB \leq 1,5$, рассчитанные для моделей различных ФАР в ANSYS Electronics. На основе выполненного анализа сделан вывод, что наилучшие характеристики (коэффициент усиления, рабочая полоса частот,

уровень боковых лепестков при сканировании) могут быть получены при использовании круглых полосковых излучателей на воздушной подложке.

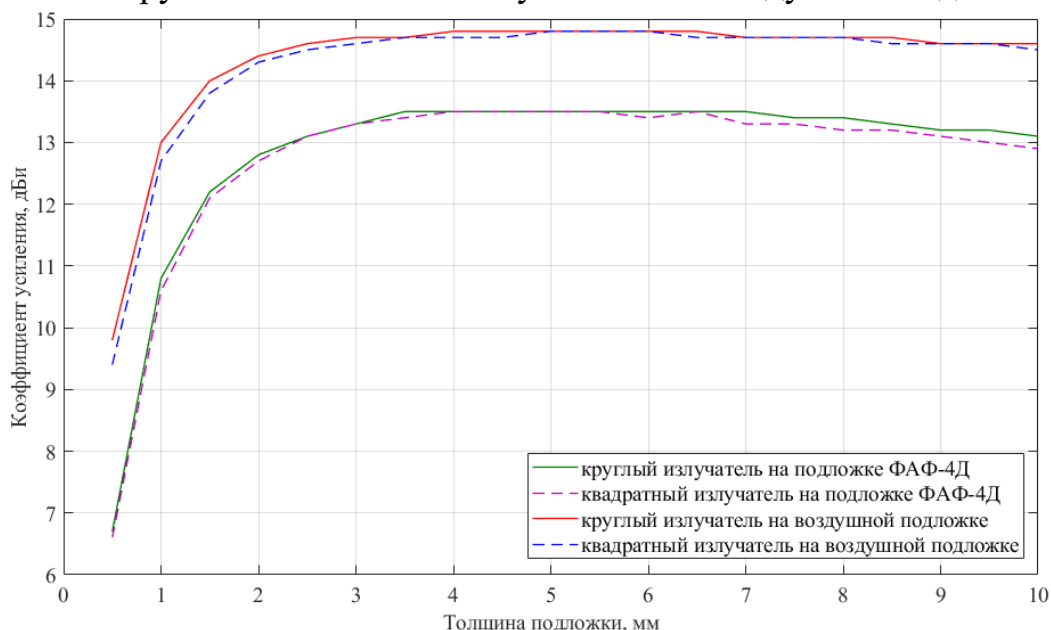


Рисунок 3 – Зависимости КУ малой ФАР из четырех излучателей от толщины подложки, рассчитанные на основе моделей в ANSYS Electronics

Таблица – Сравнение характеристик моделей ФАР

Тип ФАР	θ_{-3} , град.	КУ, дБи	Полоса частот, МГц
Круглые элементы на подложке ФАФ-4Д ($\epsilon = 2,5$; $h = 2,5$ мм)	36/36	13,1	1673–1689
Квадратные элементы на подложке ФАФ-4Д ($\epsilon = 2,5$; $h = 2,5$ мм)	36/40	12,7	1674–1687
Круглые элементы на воздушной подложке ($\epsilon = 1$; $h = 6$ мм)	35/35	14,8	1657–1704
Квадратные элементы на воздушной подложке ($\epsilon = 1$; $h = 6$ мм)	35/35	14,8	1657–1702

3 Энергетический расчет системы

Учитывая влияния среды распространения и особенности исследуемой радиотехнической системы, величину мощности сигнала на входе приемника, согласно методикам из [13]–[15], можно определить по формуле:

$$P_{\text{прм}} = P_{\Sigma} + G_{\Sigma} + G_{\text{прм}} - L_{\text{прд}} - L_{\text{прм}} - \sum L \quad [\text{дБВт}], \quad (1)$$

где $L_{\text{прд}}$ – потери в передающем СВЧ-тракте в дБ;

$L_{\text{прм}}$ – потери в приемном СВЧ-тракте в дБ;

$\sum L$ – суммарные потери в радиолинии в дБ:

$$\sum L = L_0 + L_{\text{пол}} + L_{\text{навпрд}} + L_{\text{навпрм}} + L_{\text{пп}} + L_{\text{ат}} \quad [\text{дБ}], \quad (2)$$

где L_0 – потери в свободном пространстве;

$L_{\text{пол}}$ – поляризационные потери;

$L_{\text{навпрд}}, L_{\text{навпрм}}$ – потери, вызванные ошибками наведения передающей и приемной антенн;

$L_{\text{пп}}$ – прочие потери, вызванные, например, межсимвольной интерференцией, ограничением полосы частот и т.д.;

$L_{\text{ат}}$ – общее суммарное ослабление радиосигналов в атмосфере.

Учитывая данные системы из документации разработчика [3], на основе методик из [13]–[15], а также рекомендаций МСЭ-R P.619-3, МСЭ-R P. 531-13, МСЭ-R F.1245-2 и МСЭ-R P.676-6 рассчитаны зависимости уровней принимаемой мощности от расстояния от передающей антенны (рисунки 4 и 5).

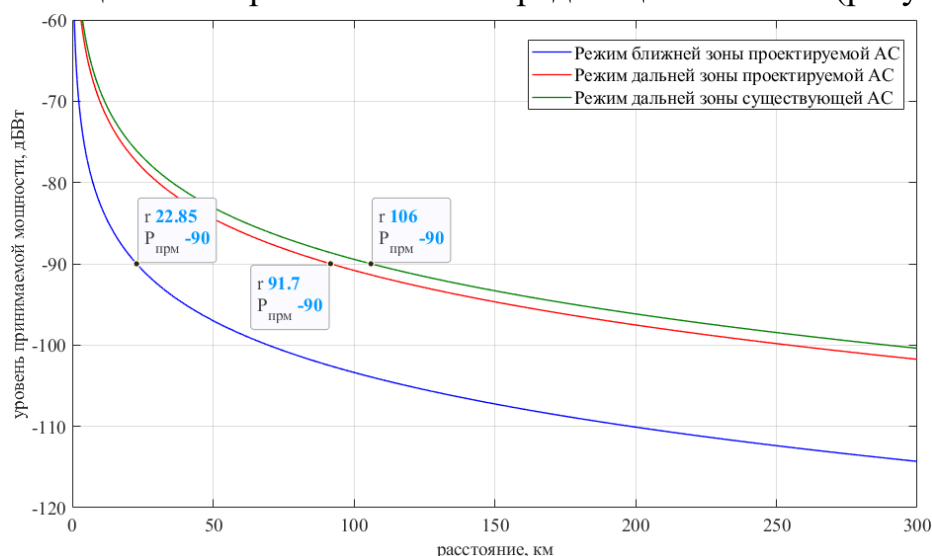


Рисунок 4 – Зависимости уровней принимаемой мощности от расстояния от передающей антенны в линии запросчика

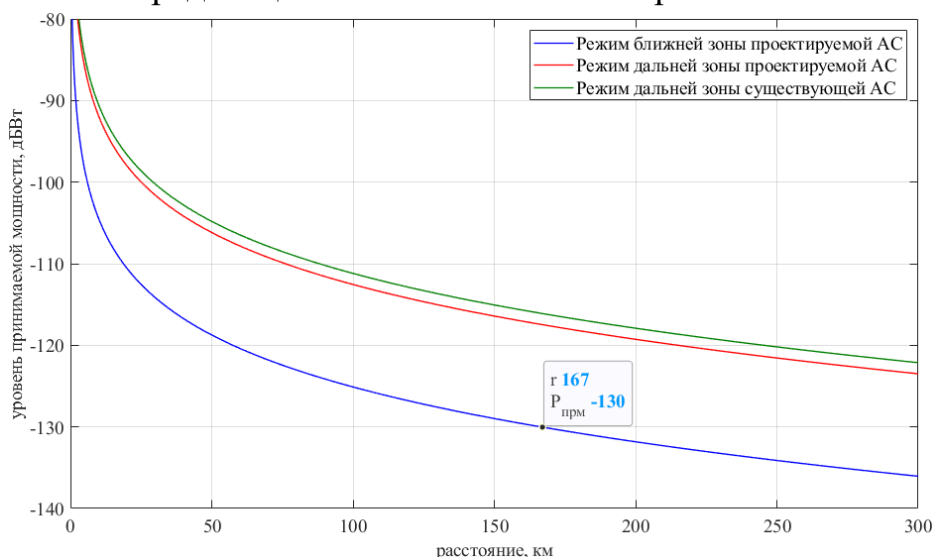


Рисунок 5 – Зависимости уровней принимаемой мощности от расстояния от передающей антенны в линии ответчика

Максимальная гарантированная дальность связи определяется линией запросчика и в режиме ближней зоны при использовании спроектированной АС

составит 23 км, а в режиме дальней зоны составит около 92 км, что примерно на 14 км ниже, чем при использовании существующей антенной системы.

4 Заключение

Таким образом, спроектированная ранее антенная система [7] доработана в части малой ФАР. Выполнены расчеты дальности с учетом влияния среды распространения и особенностей исследуемой радиотехнической системы. Стоит отметить, что согласно рекомендациям МСЭ-R P.1407-6 и МСЭ-R P.530-11, для обеспечения устойчивой связи необходимо обеспечивать минимальный энергетический запас равный 3 дБ, кроме того, при планировании линии связи, нужно учитывать замирания, которые наиболее сильно проявляются, когда расширение луча прямого сигнала сопровождается его отражением от поверхности.

Библиографический список

1. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Seventh edition. World Meteorological Organization, 2008.
2. Dabberdt, W. F. Radiosondes / W. F. Dabberdt, R. Shellhorn, H. Cole, A. Paukkunen. Elsevier Science, 2003.
3. Продукция фирмы Вектор [Электронный ресурс] / АО «УПП Вектор», Екатеринбург, 2021. – Режим доступа: <http://www.vektor.ru>.
4. Крестьяникова, Н. Н. Современные методы и средства радиозондирования / Н. Н. Крестьяникова // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. – Иркутск, 2019.
5. Shabunin, S. Antenna array for radiosonde tracking radar / S. Shabunin // 27th Telecommunications Forum (TELFOR) 2019. – Serbia, Belgrade, 2019.
6. Shishkin, M. Analysis of Influence of the Clustering Degree of the Antenna Array on its Radiation Characteristics / M. Shishkin, S. Shabunin // Eighth International Youth Scientific Conference Physics. Technology. Innovation. PTI-2021. – Russia, Ekaterinburg, 2021.
7. Shishkin, M. Design of a New Antenna System for a Meteorological Radiosonde Tracking Radar / M. Shishkin, S. Shabunin // IEEE Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). – Russia, Ekaterinburg, 2021.
8. Milligan, Thomas A. Modern antenna design / Thomas A. Milligan. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. – 633 с.
9. Фуско, В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. / В. Фуско. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

10. Chen, Z. N. Handbook of Antenna Technologies, 1st ed. 2016 edition / Z. N. Chen, D. Liu, H. Nakano, X. Qing, T. Zwick. – New York: Springer, 2016.
11. Бахарев, С. И. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / С. И. Бахарев, В. И. Вольман, Ю. Н. Либ, Н. М. Мамонова. – М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.
12. Мительман, Ю. Е. Проектирование высокочастотных устройств и антенных систем / Ю. Е. Мительман. – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – 59 с.
13. Ерохин, Г. А. Методика расчета энергетического запаса радиолинии «космический аппарат – станция» / Г. А. Ерохин, В. И. Мандель, Ю. А. Нестеркин, А. П. Струков // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, том 5, выпуск 1, 2018.
14. Соловьянова, И. П., Техническая электродинамика и распространение радиоволн / И. П. Соловьянова, Ю. Е. Мительман, С. Н. Шабунин. – Екатеринбург: УрФУ, – 2017. – 285 с.
15. Шишаков, К. В. Методика расчета радиолиний между двумя антеннами / К. В. Шишаков, М. А. Бояршинов, П. В. Караваев, А. С. Батурин, А. В. Савельев // Интеллектуальные системы в производстве № 3, 2016.